CHAPITRE III

LES ELEMENTS OPTIQUES

1-INTRODUCTION

2-LES MIROIRS

3-LES DIOPTRES

4-LAME A FACESP ARALLELES

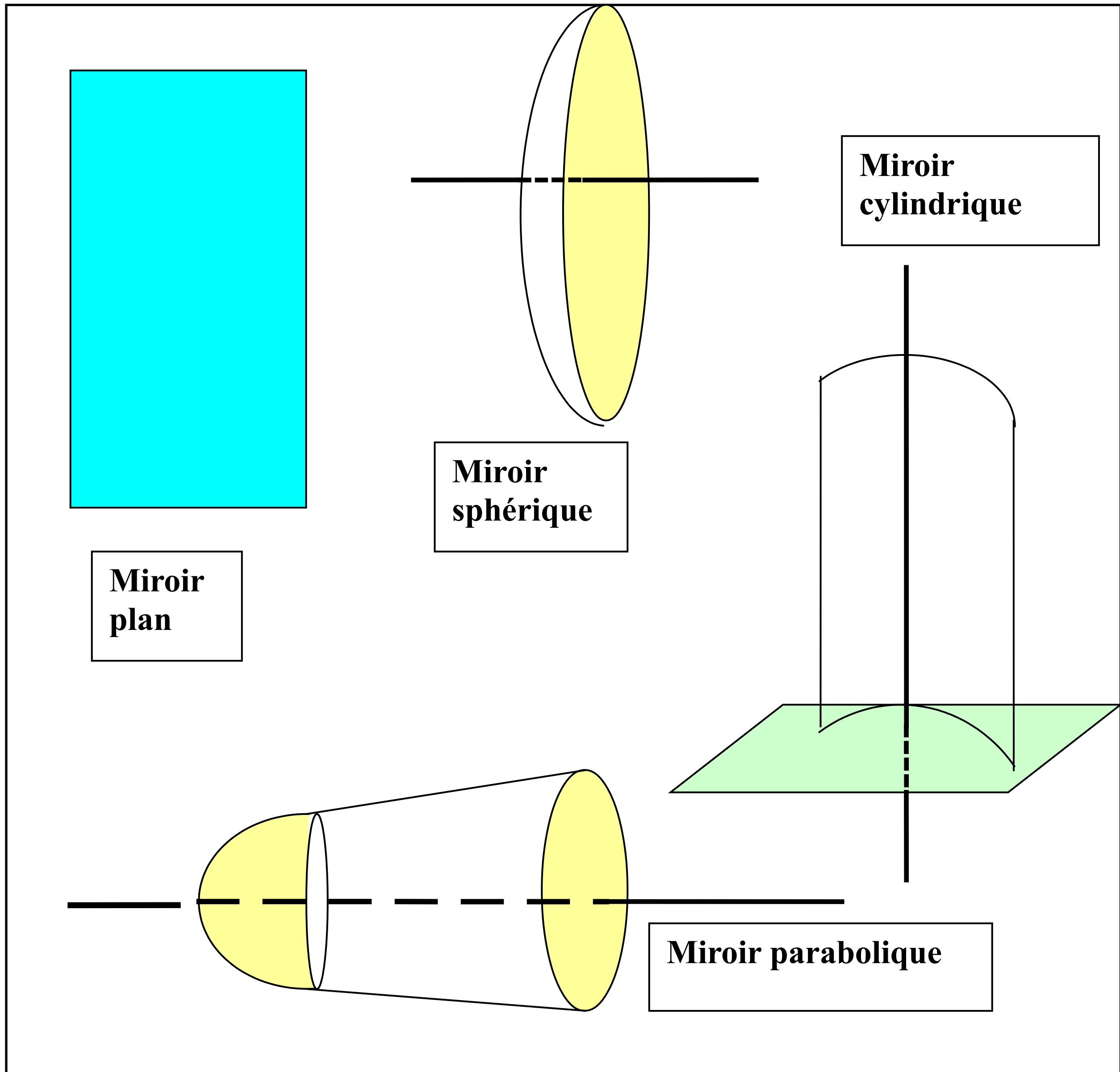
5-LE PRISME

1-INTRODUCTION :

Les principaux éléments optiques que l'on rencontre en optique géométrique sont : **les miroirs** et **les dioptres** **(plans ou sphériques)**. L'**association** des **dioptres plans** et **sphériques** donne naissance à d'autres éléments, tels que : **les prismes, les lames à faces parallèles, les lentilles sphériques (épaisses** et **minces)** et **les systèmes centrés.** Dans ce cours nous allons nous familiariser avec ces éléments optiques et leurs propriétés.

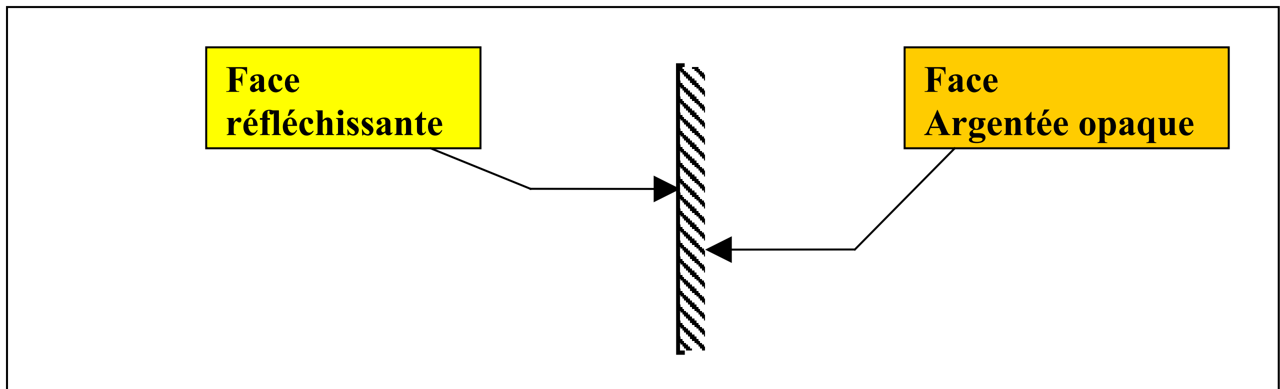
2- LES MIROIRS :

Toute surface **réfléchissant la** totalité de la lumière qui lui parvient est appelée **miroir parfait**. Les principaux miroirs que l'on rencontre dans la pratique sont : **Les miroirs plans, sphériques, cylindriques et paraboliques.**



2.1- MIROIR PLAN :

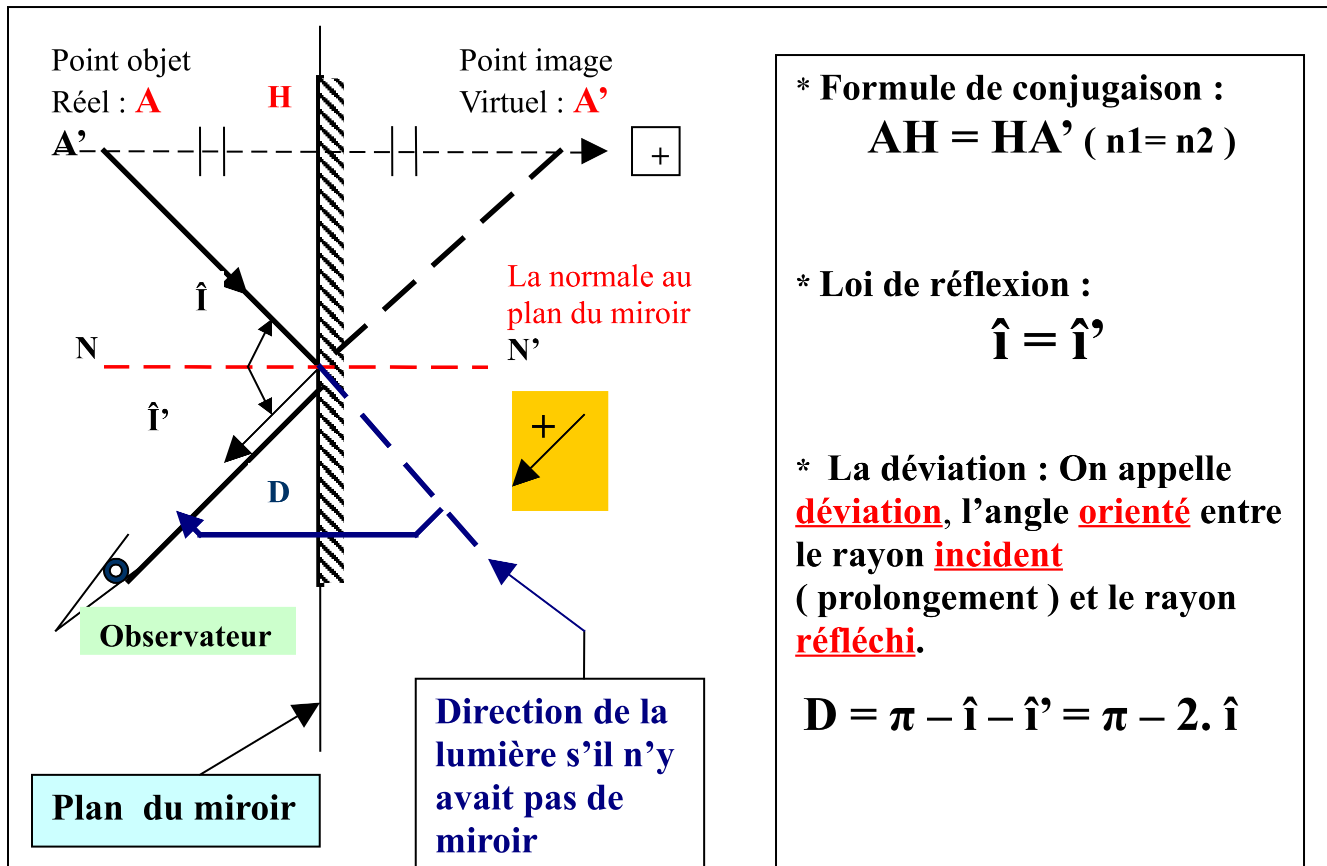
Un **miroir plan** est une surface **plane** réfléchissante, généralement en verre dont l'une des surface est **Argentée** (appelée le dos du miroir qui devient ainsi opaque). Il est représenté par convention comme l'indique la figure suivante :



Le miroir plan possède la propriété fondamentale suite :

Un miroir plan donne de tout point objet, une image stigmatique, symétrique du point objet par rapport au plan du miroir.

2.2- CONSTRUCTION DE L'IMAGE D'UN POINT OBJET :



*** Formule de conjugaison :**

AH = HA' (n1= n2)

*** Loi de réflexion :**

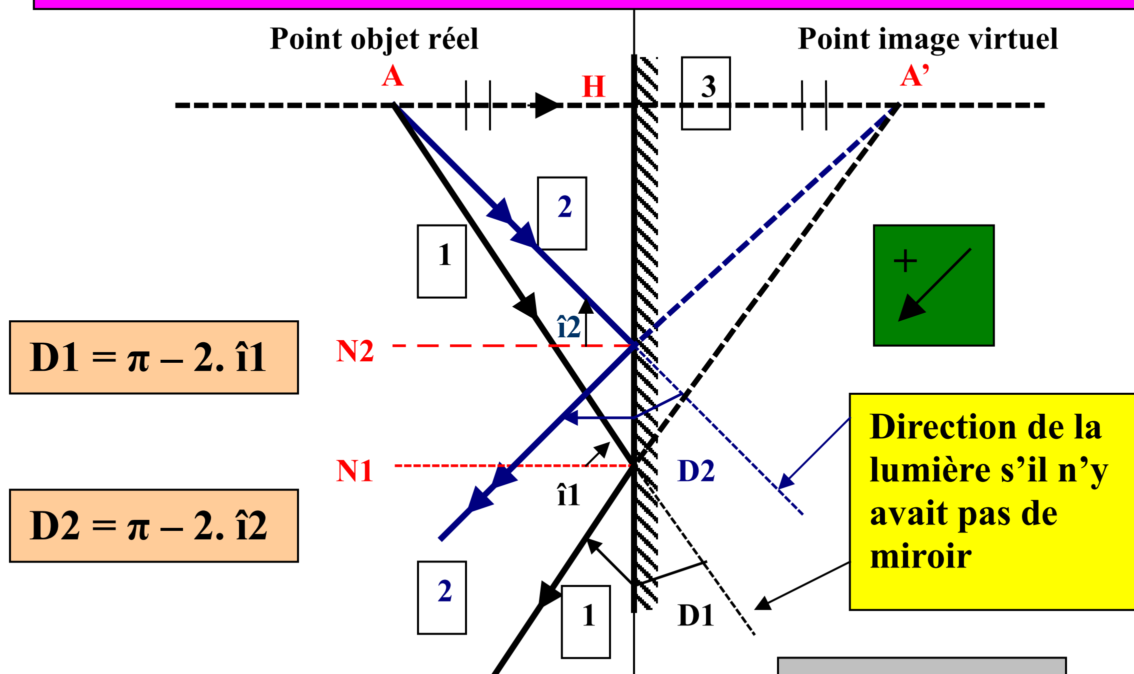
$$\hat{i} = \hat{i}'$$

*** La déviation : On appelle <u>déviation</u>, l'angle <u>orienté</u> entre le rayon <u>incident</u> (prolongement) et le rayon <u>réfléchi</u>.**

$$D = \pi - \hat{i} - \hat{i}' = \pi - 2.\hat{i}$$

L'image d'un point objet A, s'obtient en prenant le <u>symétrique</u> de l'objet A par rapport au plan du miroir. Pour l'observateur, l'image semble venir de A'

CAS DE RAYONS PROVENANT D'UN POINT OBJET

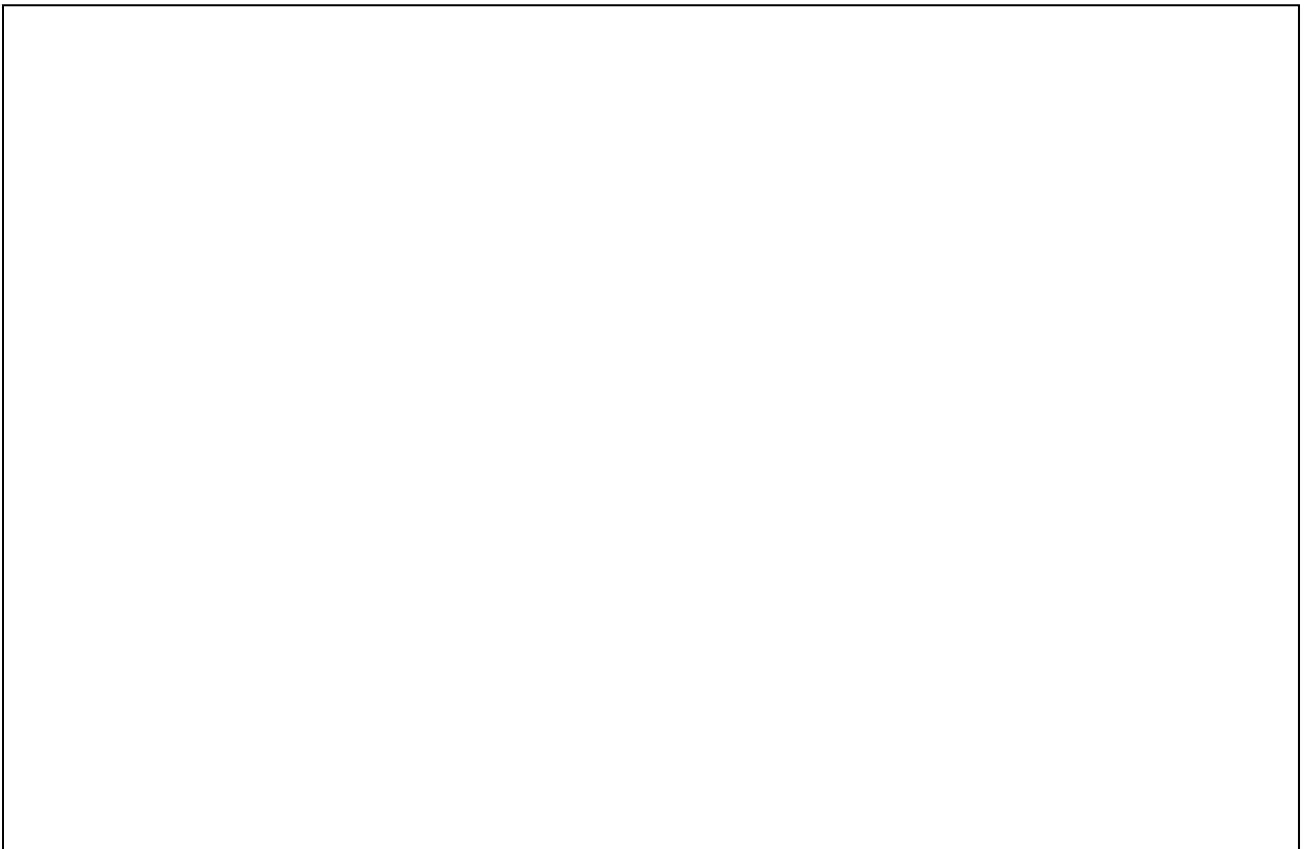


UN RAYON QUI ABORDE (tombe sur) UN MIROIR PLAN, AVEC UN ANGLE D'INCIDENCE (i), SUBIT UNE DEVIATION (D) TELLE QUE :

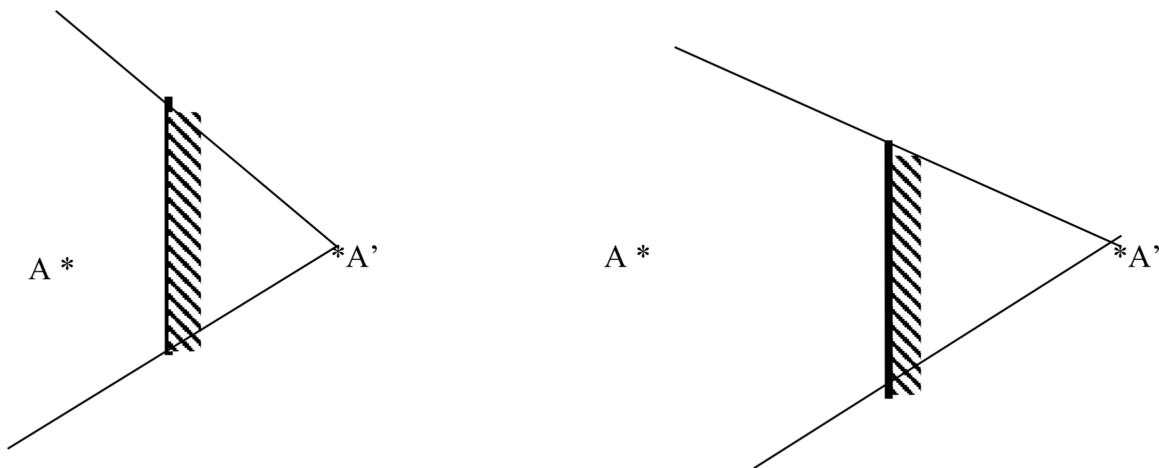
$$D = \pi - 2.i$$

2.3- CONSTRUCTION DE L’IMAGE D’UN OBJET NON PONCTUEL:

Comme le miroir plan est stigmatique pour tous les points de l’espace, l’image A’B’ d’un objet AB à travers le miroir, s’obtient de la façon suivante : On trace le symétrique A’ de A par rapport au plan miroir. On trace le symétrique B’ de B par rapport au plan miroir, puis on relie par un segment de droite en traits pointillés car l’image est virtuelle (voir figure ci-dessous et de même pour le crayon).



REMARQUE : LE CHAMP D’UN MIROIR PLAN :



2.4- ROTATION D'UN MIROIR PLAN :

LORSQUE UN MIROIR PLAN TOURNE D'UN ANGLE (α) AU TOUR DE L'UN DE SES POINTS, LES IMAGES DES OBJETS, A TRAVERS CE MIROIR, SUBISSENT UNE ROTATION, PAR RAPPORT A CE POINT, D'UN ANGLE EGAL A ($2 . \alpha$).

Miroir position (1) :
On a l'incidence (i1)/ à la normale N1.
Donc l'angle de réflexion i1'= i1.
Donc l'angle (AoA1) = 2.i1

Miroir position (2) :
On a l'incidence i2= (i1 +α)/ à la normale N2.

Donc l'angle de réflexion i2'= i2.
Donc l'angle (AoA2) = 2.i2
= 2.(i1 +α)

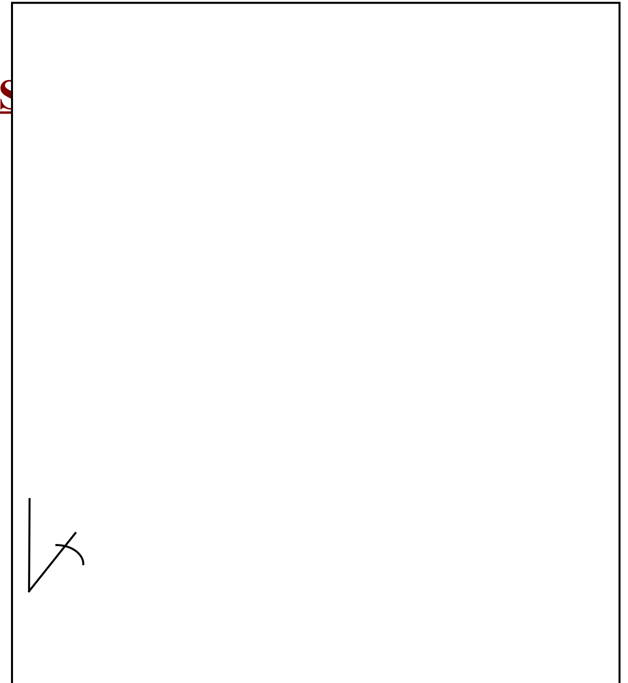
L'angle entre les deux rayons réfléchis (A1oA2) est aussi l'angle entre les images A1' et A2'.
On a alors :
A1'oA2' = A1oA2 = AOA2 – AOA1
= 2. (i1 +α) – 2.(i1) = 2.(α)

Même chose :

L' angle (AH1A1) = 2.i1

L'angle (AH2A2) = 2.(i1 + α)

Donc :
A1H2 A2 = AH2A2 – AH1A1
= 2.(i1 + α) – 2(i1)
= 2.(α).



2.5- ASSOCIATION DE MIROIRS PLANS

Un système de miroirs engendre plusieurs images d'un même objet. Celle obtenue après une seule réflexion des rayons lumineux, issus de l'objet,sur l'un des miroirs du système est appelée : **image d'ordre '1'**. Celle obtenue après 2 réflexions des rayons lumineux, issus de l'objet, sur l'un des miroirs du système est appelée : **image d'ordre '2'**. Celle obtenue après 'n' réflexions des rayons lumineux, issus de l'objet, sur l'un des miroirs du système est appelée : **image d'ordre ' n'**.

Deux miroirs, disposés comme l'indique le schéma (ci-dessous), faisant un angle **(α)** entre eux, permettent de dévier les rayons lumineux et, donc, de les diriger comme on veut. Par exemple, la déviation totale $\mathbf{D_T}$ subit par le rayon incident $\mathbf{[SI_1]}$ est la somme des déviations $\mathbf{D_1}$ sur $\mathbf{M_1}$ et $\mathbf{D_2}$ sur $\mathbf{M_2}$.

$D_T = D_1 + D_2$. Avec $D_1 = (\pi - 2\ i1)$ et $D_2 = (\pi - 2\ i2)$.

Dans le triangle (**K I_1 I_2**) on a :

$$\{ i1 + i2 + \beta = \pi \quad \text{et} \quad \alpha + \beta = \pi \} \Longrightarrow \{ \alpha = i1 + i2 \}$$

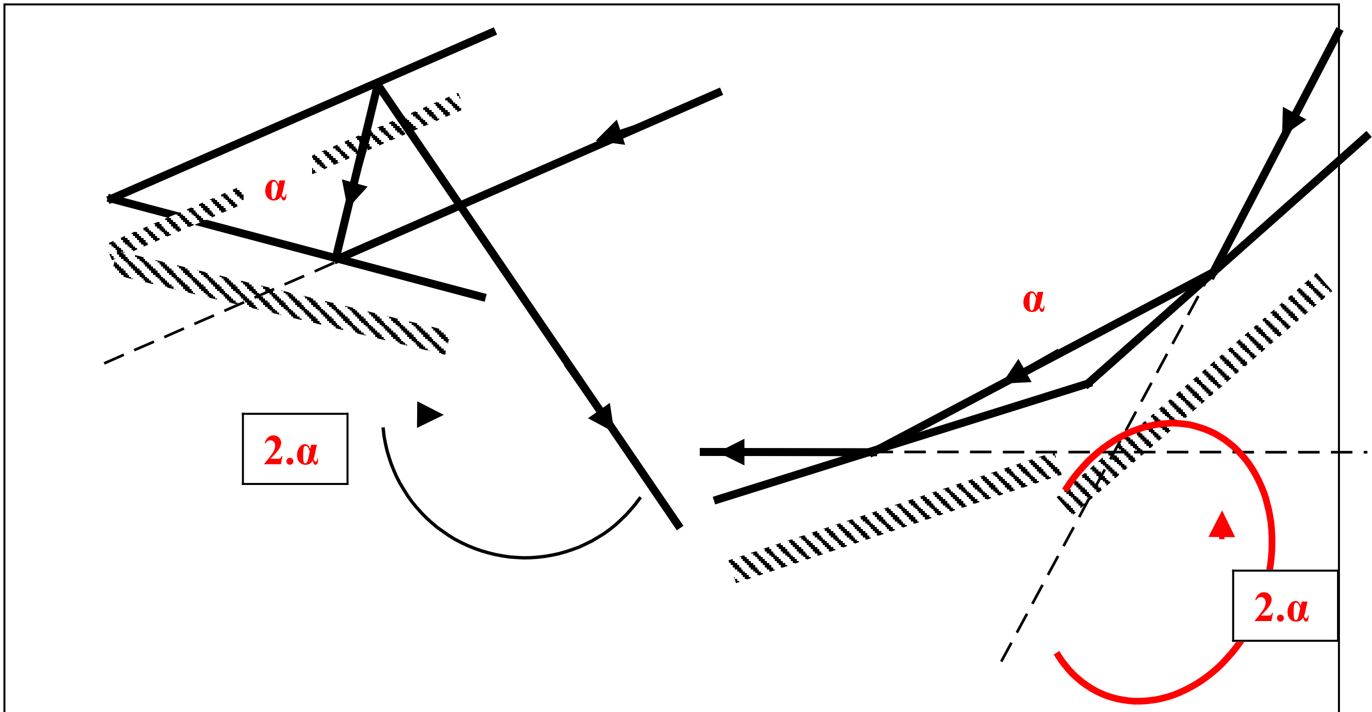
D'où: $D_T = (\pi - 2\, i1) + (\pi - 2i2) = 2.[\pi - (i1 + i2)] = 2.[\pi - \alpha]$

2.6- EXEMPLES:

a- **Angle Aigu:**

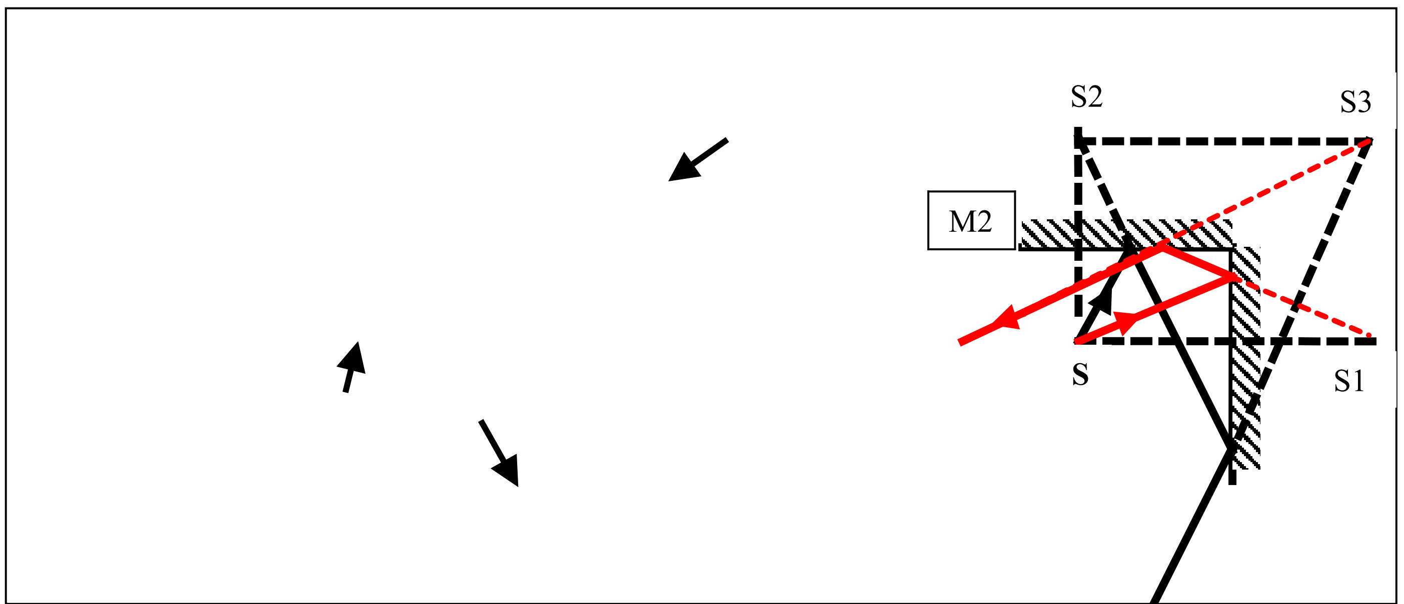
b- **Angle obtu:**

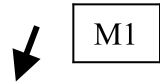
-



e-Angle de 45°:

d- **Angle de 90°:**



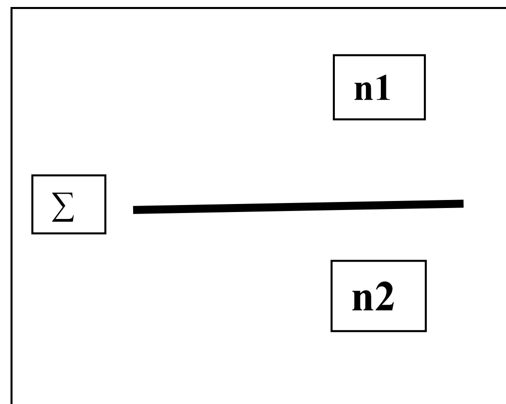


3- LES DIOPTRES:

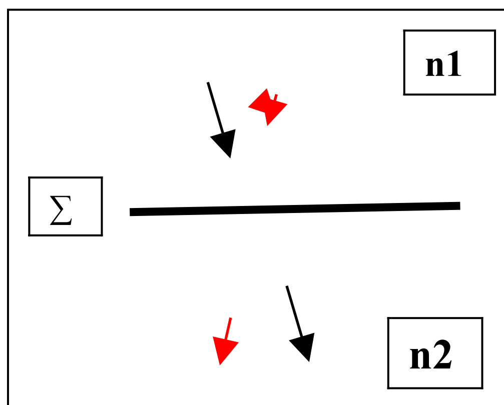
Définition: C'est la surface qui sépare deux milieux homogènes et transparents. Les indices de réfraction de ces deux milieux sont constants et différents. Dans la pratique on trouve deux types de dioptres : les **dioptres plans** et **les dioptres sphériques**.

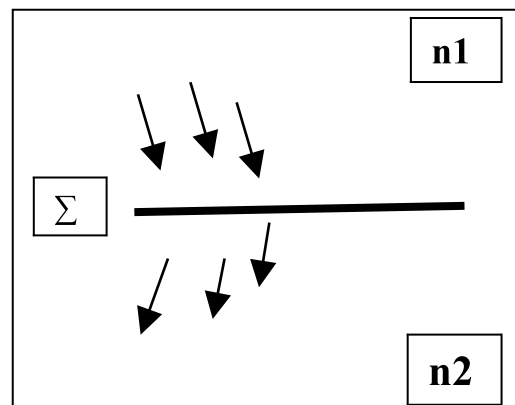
3.1- LES DIOPTRES PLANS:

Qand la surface de séparation de deux milieux homogènes et transparents est **plane** alors on dit qu'elle forme **un dioptre plans**.



- Les dioptres plans présentent un stigmatisme pour tout ses points et les points à l'infini.



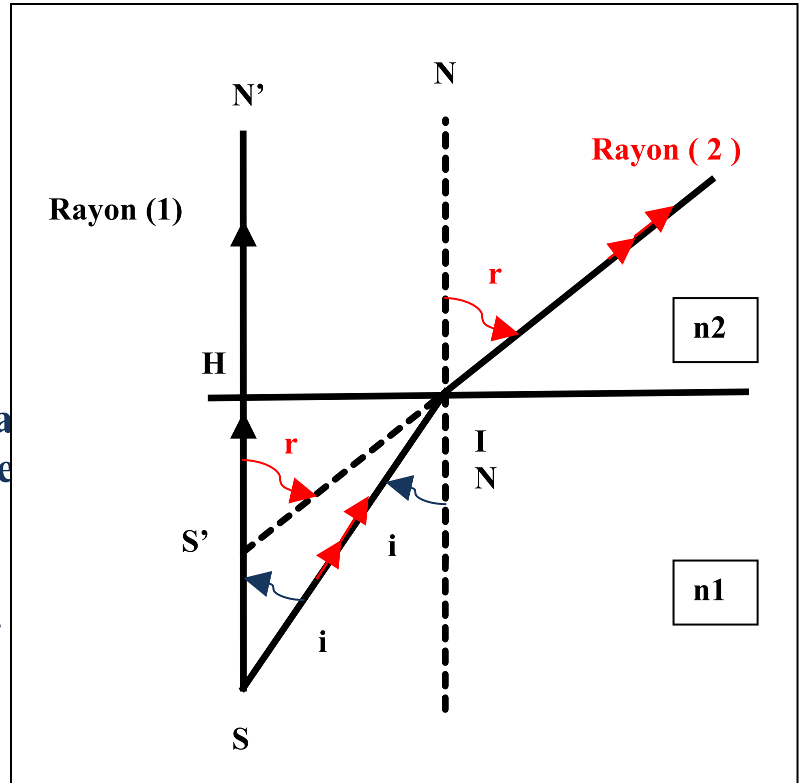


- Et présentent un stigmatisme approché, dans les conditions de GAUSS pour les autres points de l'espace.

- On note un dioptre plan par : **D_P (n1, n2)** quand la lumière passe du milieu d'indice (n1) vers le milieu d'indice (n2).

3.2- CONSTRUCTION DE L'IMAGE D'UN OBJET PONCTUEL: (à travers un dioptre plan)

Soit (**S**) un objet ponctuel.
L'image (**S'**) de l'objet est
Donnée par l'intersection du
rayon (1) et le prolongement
du **rayon (2)**.
L'image (**S'**) est donc **virtuelle**.



Remarque : L'image d'un objet réel (S) à travers un dioptre pla est toujours virtuelle et est située sur la verticale, au dioptre, passant par (S). L'image (S') se rapproche de la surface libre.

3.3- LA FORMULE DE CONJUGAISON D'UN DIOPTRE PLAN:

Le s écrire :

$$tg(r) = \frac{SIN(r)}{COS(r)} = \overline{HI} / \overline{HS'} \quad \text{et} \quad tg(i) = \frac{SIN(i)}{COS(i)} = \overline{HI} / \overline{HS}$$

$$\overline{HI} = \overline{HS'} \cdot \frac{SIN(r)}{COS(r)} = \overline{HS} \cdot \frac{SIN(i)}{COS(i)}$$

Comme n1 . Sin (i) = n2 . Sin (r) alors:

$$\overline{HS'} = \frac{Sin(i) . Cos(r)}{Cos(i) . Sin(r)} \overline{HS} = \frac{n2}{n1} \frac{Cos(r)}{Cos(i)} \overline{HS}$$

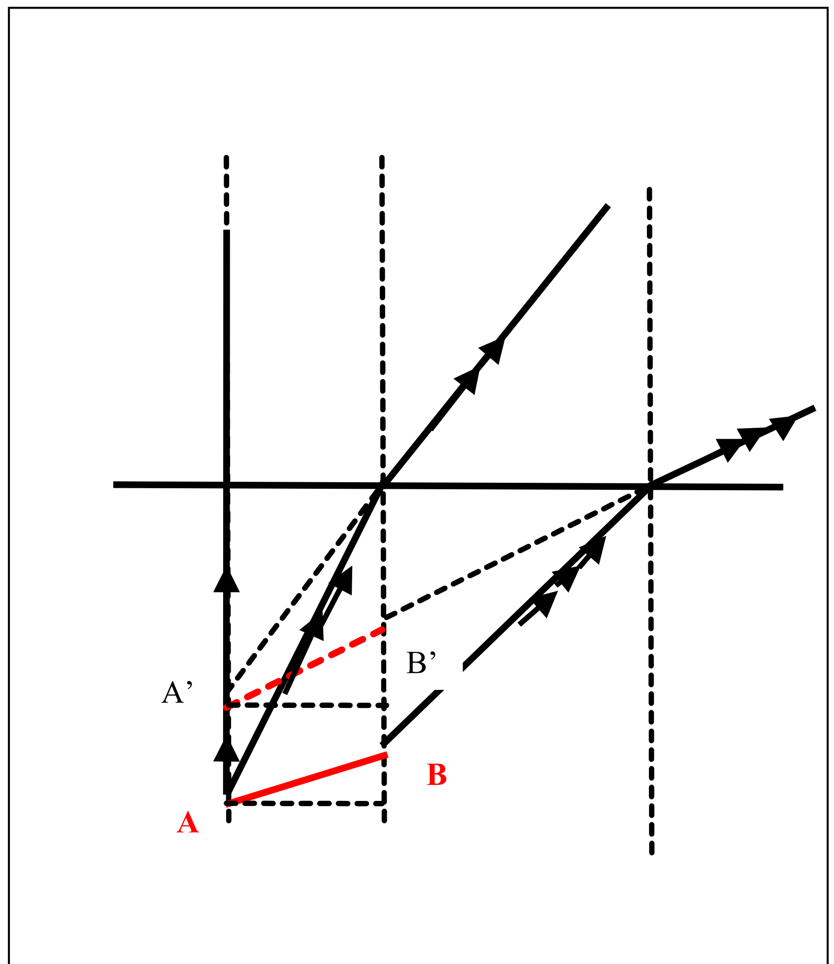
Dans les conditions de stigmatisme approché les angles (i) et (r) sont faibles ==> $\cos(i) = \cos(r) \approx 1$

et la formule de conjugaison est :

$$\overline{HS} = \frac{n2}{n1}\,\overline{HS'}$$

et le segment [SS'] = $\overline{SH} - \overline{S'H}$ est appelé le rapprochement

3.4- CONSTRUCTION DE L'IMAGE D'UN OBJET NON PONCTUEL: (à travers un dioptre plan)

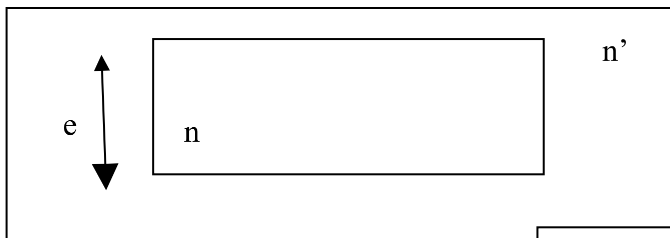


ASSOCIATION DE DIOPTRES PLANS

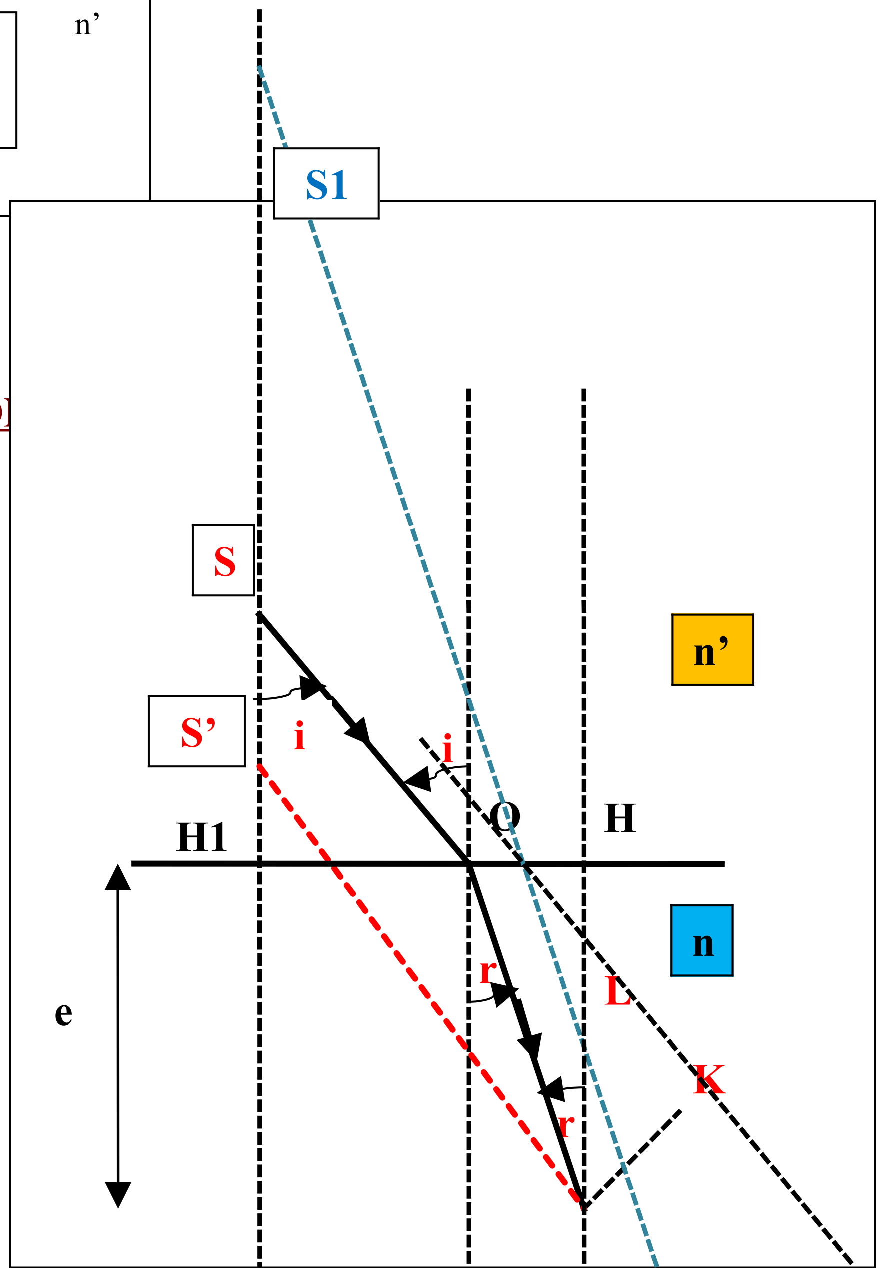
4- LES LAMES A FACES PARALLELES:

4.1- DEFINISSION:

Une lame à faces parallèles est un milieu matériel (Exemple : le verre), transparent, homogène (d'indice de réfraction ' n') limité par deux dioptres plans, parallèles et distants de (e) appelée 'épaisseur' de la lame.
En général, elle baigne dans un mileu transparent et homogène d'indice de réfraction (n').



4.2- MARCHE D'UN RAYO



Sur le dioptre D_p (n', n) on a:
n'. Sin(i) = n. Sin(r)

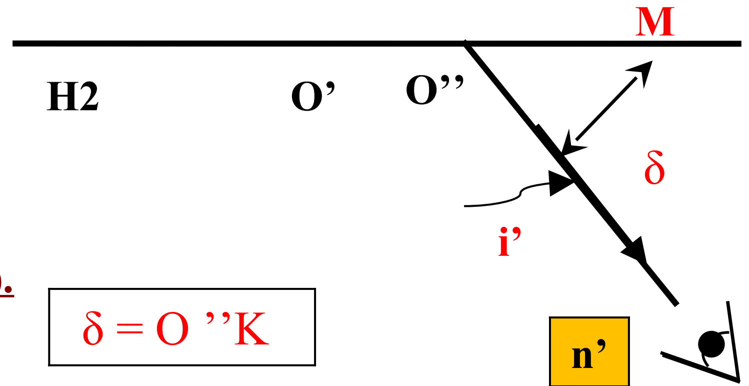
Sur le dioptre D_p (n, n') on a:
n. Sin(r) = n'. Sin(i')

Donc:

n'. Sin(i) = n'. Sin(i')

⇨ Sin(i) = Sin(i')

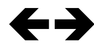
⇨ | i | = | i'|



Le rayon émergent (sortant)
est parallèle au rayon (incident),
quelque soit l'angle d'incidence (i).

δ = O ''K

* LA DEVIATION TOALE :

$\overline{D_T} = \overline{D_o} + \overline{D_{o''}}$ 

$D_T = D_o - D_{o''} = (i – r) + (r - i) = 0$

* LE DEPLACEMENT LATERAL (δ) :

Subit par le rayon sortant:

$$\delta = O''K = OO''. \sin (i- r) = [OO' / \cos(r)]. \sin (i- r)$$

$$\delta = e . \sin (i- r)/ \cos (r)$$

- **On a SS' (le déplacement apparent de l'objet) :**

$$\delta / \overline{SS'} = O''K / \overline{SS'} = \sin (i)$$

$$==> \quad \overline{SS'} = e \sin(i – r) / [\sin(i). \cos(r)]$$

Remarque : **on a aussi :**

* **une translation (//) à la lame:** $y = O''M = e^* [tg(i) – tg(r)]$

* **une translation (⊥) à la lame:** $z = O''L = e^* [tg(i) – tg(r)]/ tg(i)$

S----→ S1 on a : $\dfrac{H1S}{H1S1} = \dfrac{n'}{n}$

Relation entre S1 et S' :

S1----→ S' on a : $\dfrac{\overline{H2S1}}{\overline{H2S'}} = \dfrac{n}{n'}$

Aussi on a: SS' = SH1 + H1H2 + H2S'

en

$$\overline{SS'} = (n'/n).\overline{S1H1} + \overline{H1H2} + (n'/n).\overline{H2S1}$$

$$\overline{SS'} = -(n'/n).\overline{H1S1} + \overline{H1H2} + (n'/n).(\overline{H2H1} + \overline{H1S1})$$

$$\overline{SS'} = -(n'/n).\overline{H1S1} + \overline{H1H2} - (n'/n).\overline{H2H1} + (n'/n).\overline{H1S1}$$

$$\overline{SS'} = \overline{H1H2}\,(1 - n'/n) + 0$$

$$\overline{SS'} = e\,(1 - n'/n)$$

SS' : le déplacement apparent de l'objet « S », introduit par la lame est <u>indépendant de la position</u> de l'objet par rapport à la lame.

REMARQUE :

Lorsque l'on regroupe, en parallèle, plusieurs lames à faces parallèles, le déplacement apparent total de l'objet provoqué par les lames est égal à la somme des déplacements apparents induits par chacune des lames.

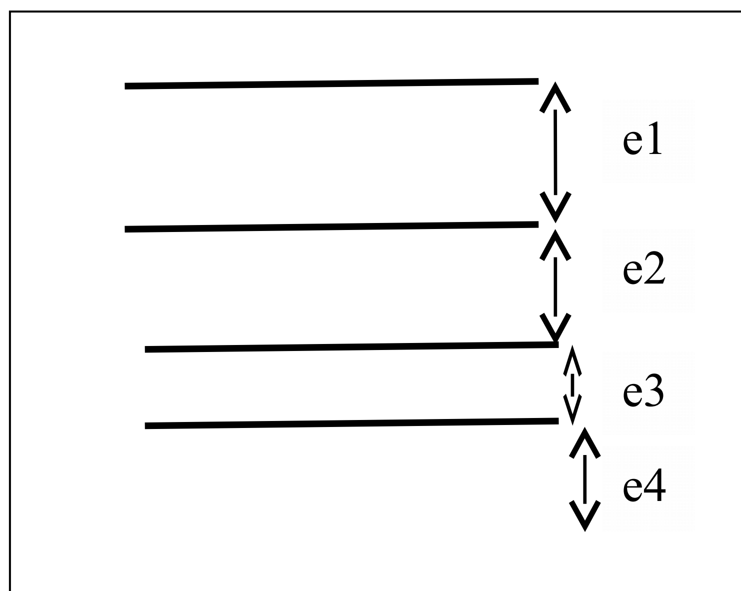
$$SS'_{TOTAL} = (SS')_1 + (SS')_2 + (SS')_3 + \ldots\ldots + (SS')_n$$

e1 ------ > $(SS')_1$

e1 ------ > $(SS')_1$

e2 ------ > $(SS')_2$

e3 ------ > $(SS')_3$

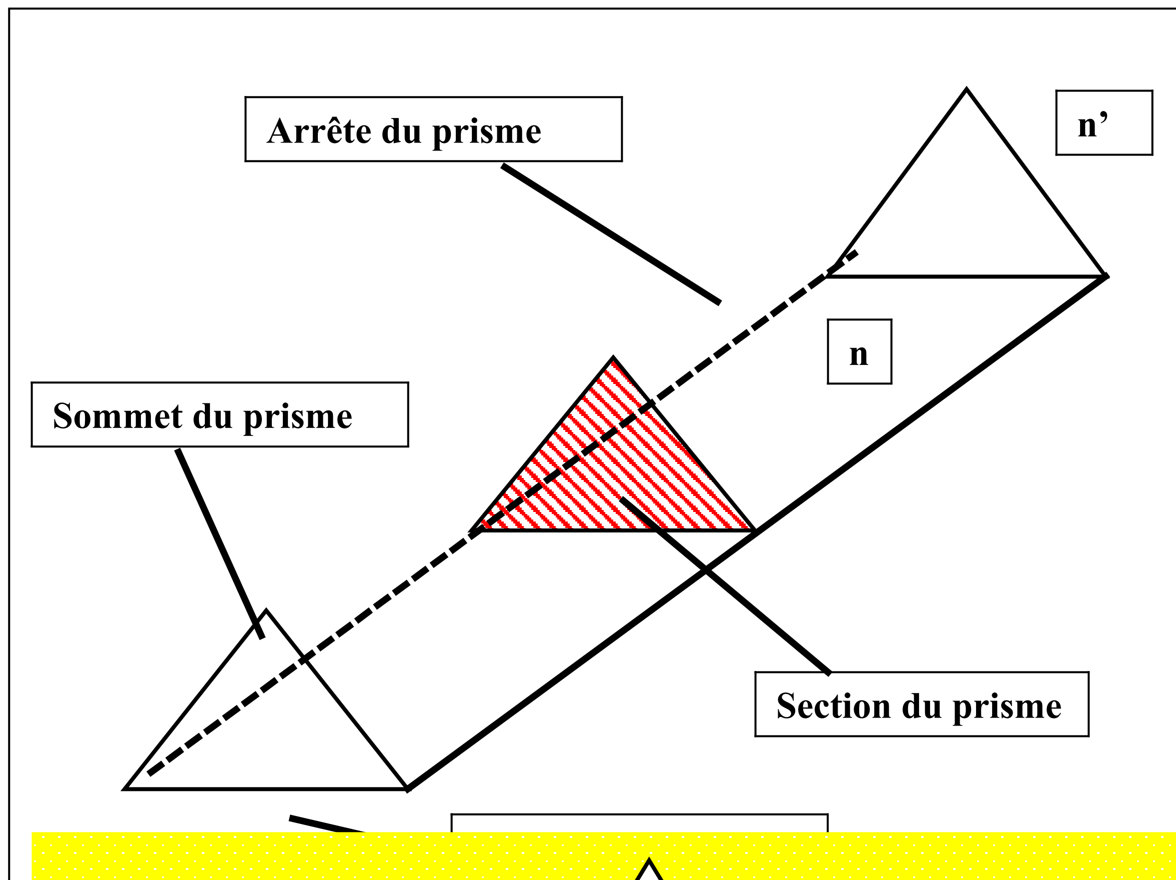


e4 ------ > (SS' $)_4$

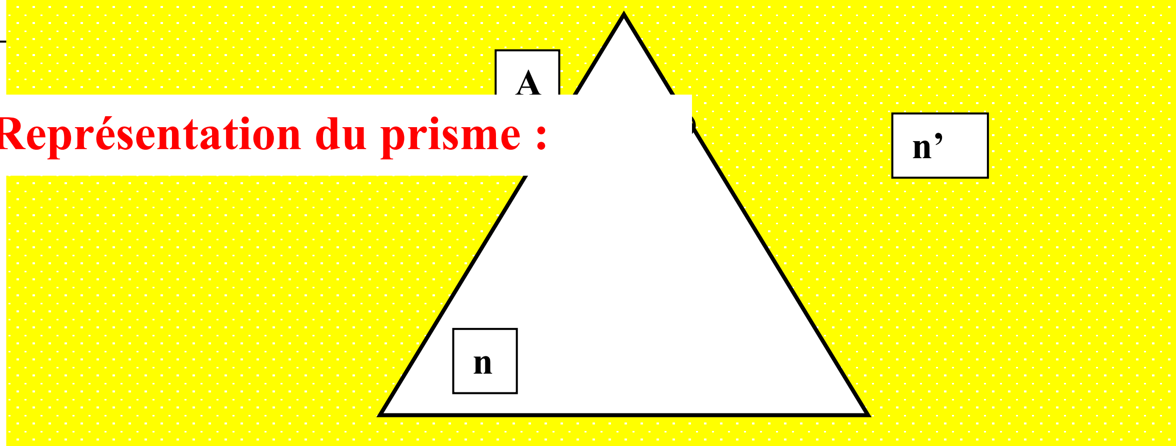
5- LE PRISME:

5.1- DEFINITION:

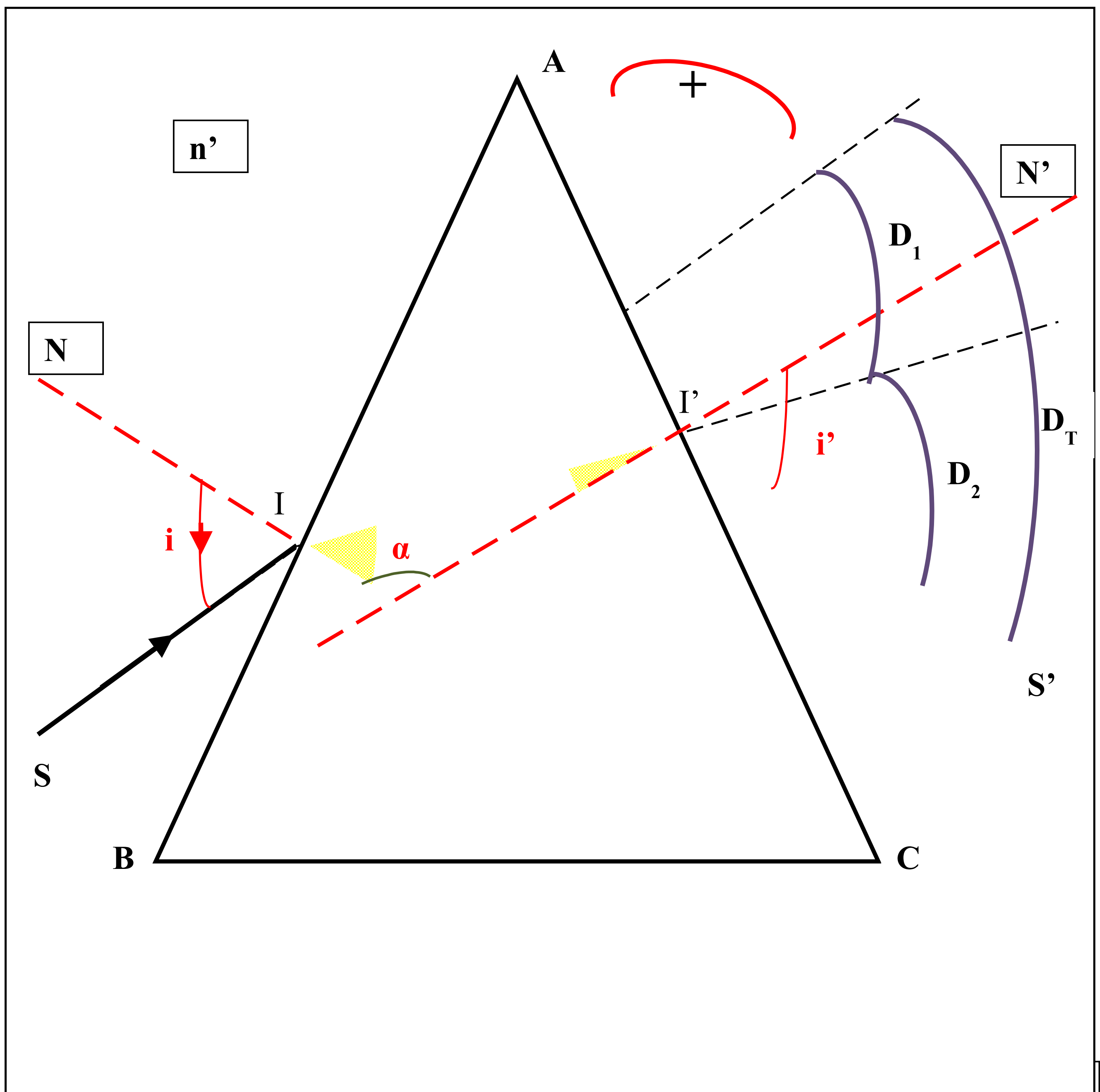
- *** Un prisme est un milieu matériel homogène, transparent et réfringent(n), limité par (03) dioptres plans.**
- *** Il présente un stigmatisme approché dans les conditions de GAUSS.**
- *** On l'utilise pour :**
  - **- Déterminer l'indice de réfraction des substances transparentes.**
  - **- Séparer les radiations de la lumière. (Ex : l'arc en ciel).**
  - **- Réfléchir la lumière (Réflecteur).**



Représentation du prisme :



5.2- MARCHE D'UN RAYON LUMINEUX A TRAVERS UN PRISME:



On a : $n' . \sin(i) = n . \sin(r)$

Et $n . \sin(r') = n' . \sin(i')$

5.3-LA CONDITION D'EMERGENCE :

Le rayon lumineux (SI), aborde la face (AB) du prisme et subit une première réfraction en (I) et une deuxième en (I'). Pour qu'il y ait une seconde réfraction il y a une condition dite « d'émergence ». C'est-à-dire, que pour avoir une sortie du rayon lumineux par la face (AC), il faut que l'angle d'incidence (r') soit inférieur à l'angle limite de réfraction (r_L) :

$$r' \leq r_L \qquad \text{avec } \sin(r_L) = n' / n$$

Aussi, d'après la loi du retour inverse de la lumière, pour qu'il y ait émergence du rayon lumineux abordant la face (AC) par la face (AB), il faut que le rayon d'incidence (r) soit inférieur à l'angle limite de réfaction (r_L). C'est le même angle limite car on est dans le même prisme.

$$r \leq r_L \qquad \text{avec } \sin(r_L) = n' / n$$

D'autre part, les normales (NI) et (N'I') forment un angle égale à (A). Angles à côtés perpendiculaires deux à deux. Et dans le triangle (IKI) on a :

$$\alpha + r + r' = \pi \quad \text{et} \quad \alpha + A = \pi \iff A = r + r'$$

On tire donc la condition d'émergence :

$$\left.\begin{cases} A = r + r' \\ r' \leq r_L \\ r \leq r_L \end{cases}\right\} \Longrightarrow \left\{ A \leq 2.r_L \right\}$$

5.4-LA DEVIATION TOTALE:

$$\overline{D_T} = \overline{D_1} + \overline{D_2} \quad <==> \quad D_T = D_1 + D_2$$

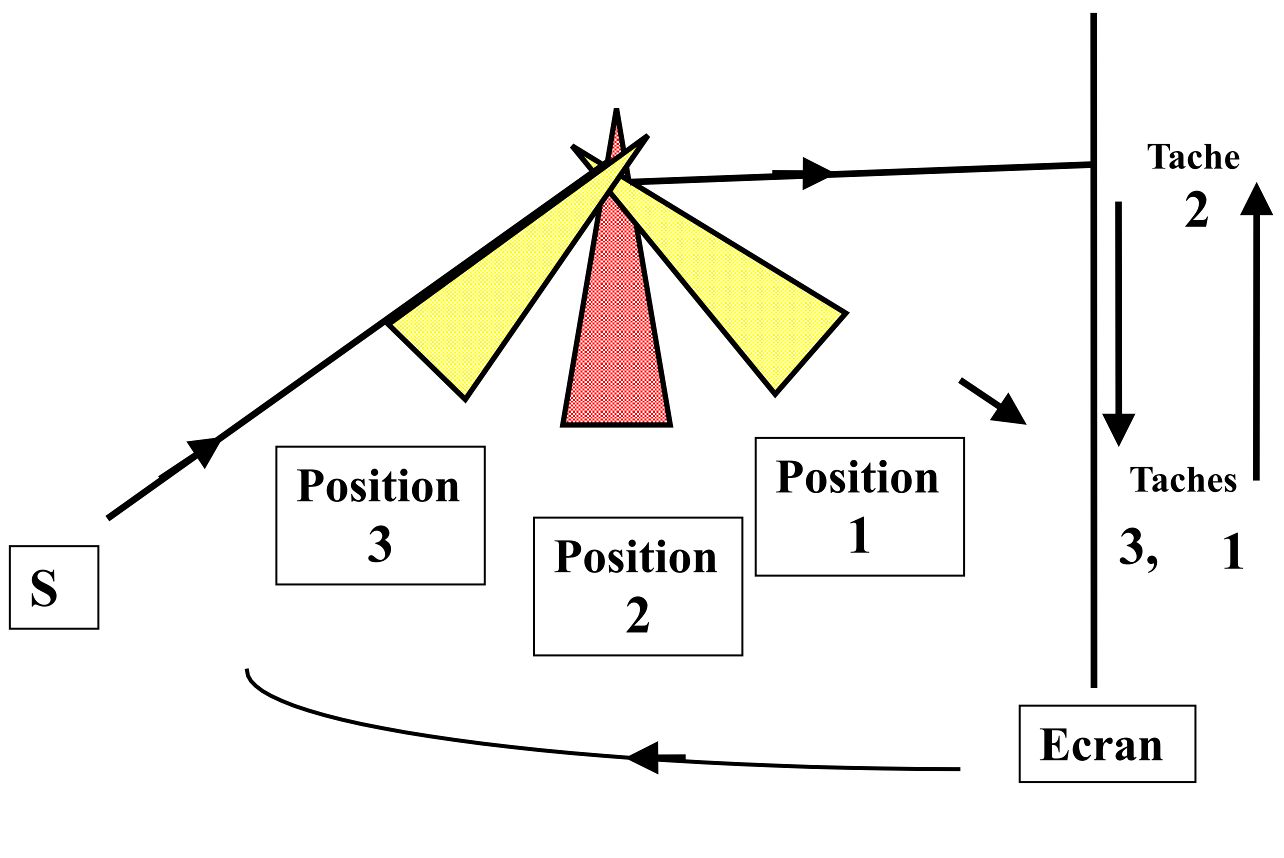
$$D_T = (i - r) + (i' - r')$$

$$D_T = (i + i') - (r + r')$$

$$\mathbf{D_T = (i + i') - A}$$

5.5-LA DEVIATION MINIMALE :

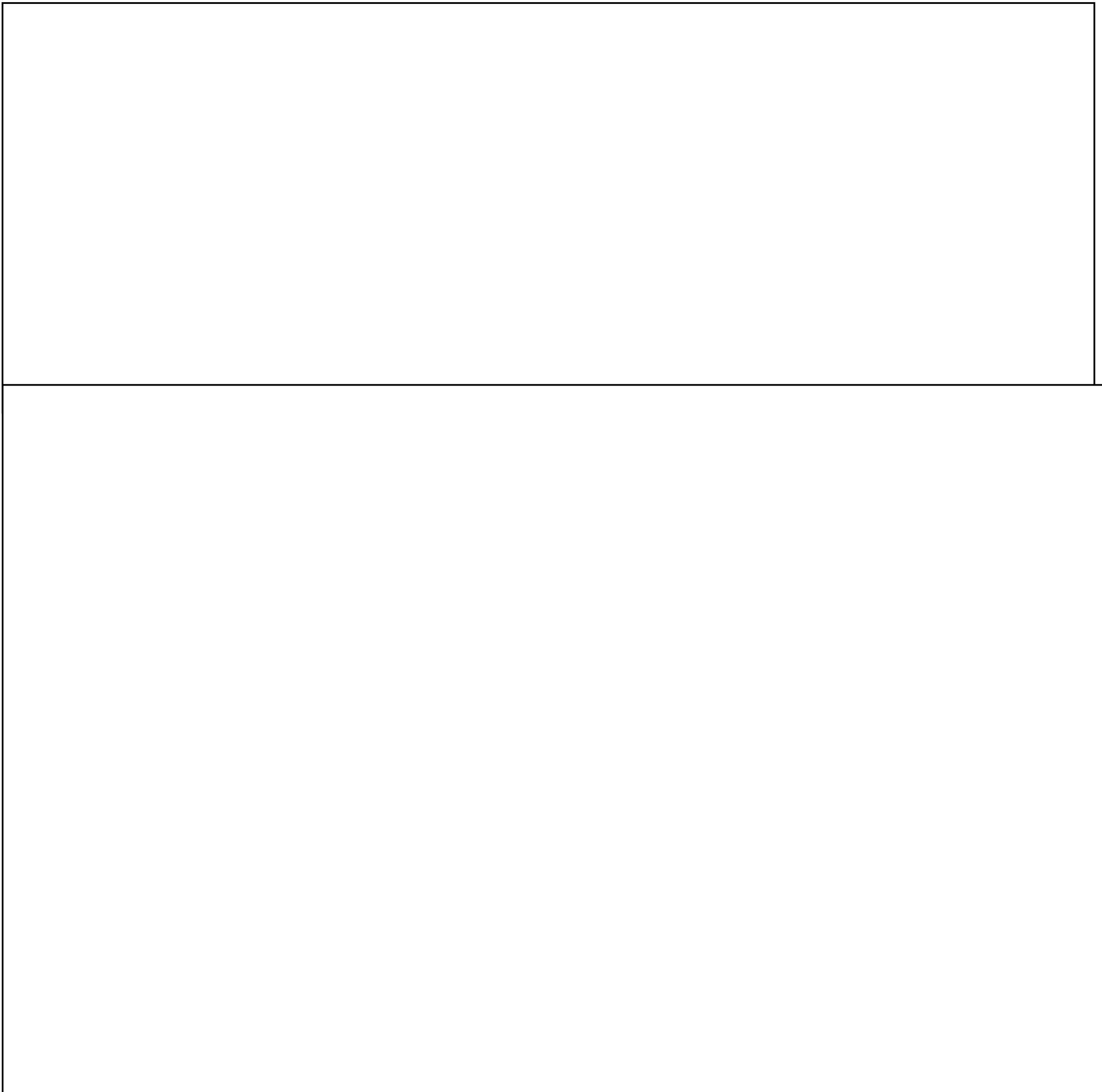
Expérience de la déviation minimale :



Le prisme de la figure tourne autour d'un axe parallèle à son arrête. On voit sur l'écran une tache (T) décrire le trajet (1 --→ 2 -→ 3).

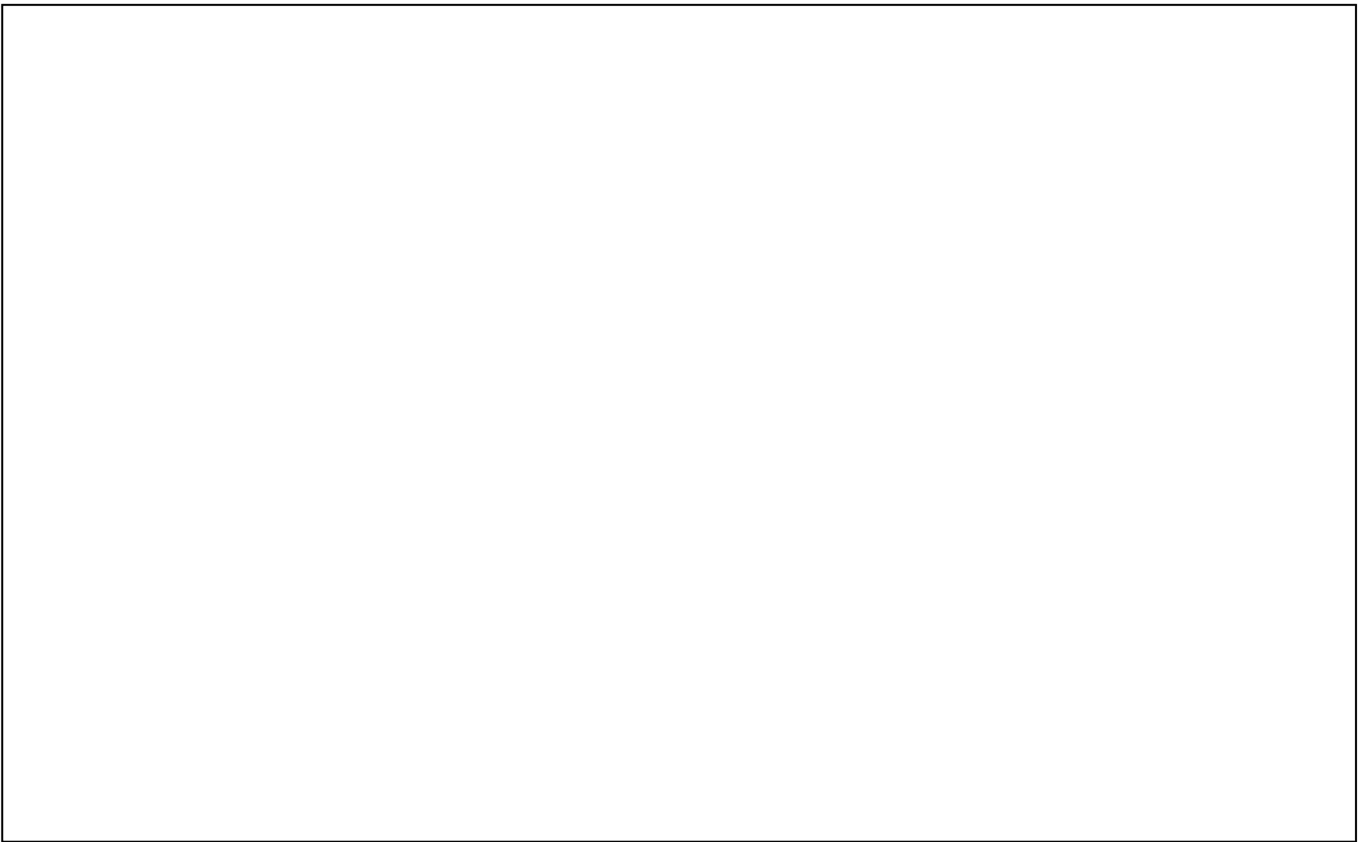
On constate que les déviations sont égales dans les deux positions limites (1 et 3) :

- *** La position (1) : émergence rasante.**
- *** La position (3) : incidence rasante.**
- *** Et la position (2) : correspond è une déviation minimale (D_m).**
- **Dans cette position , on a mesuré les i et i'. Résultat :**
  - **(i = i' = un angle appelé i_m)**



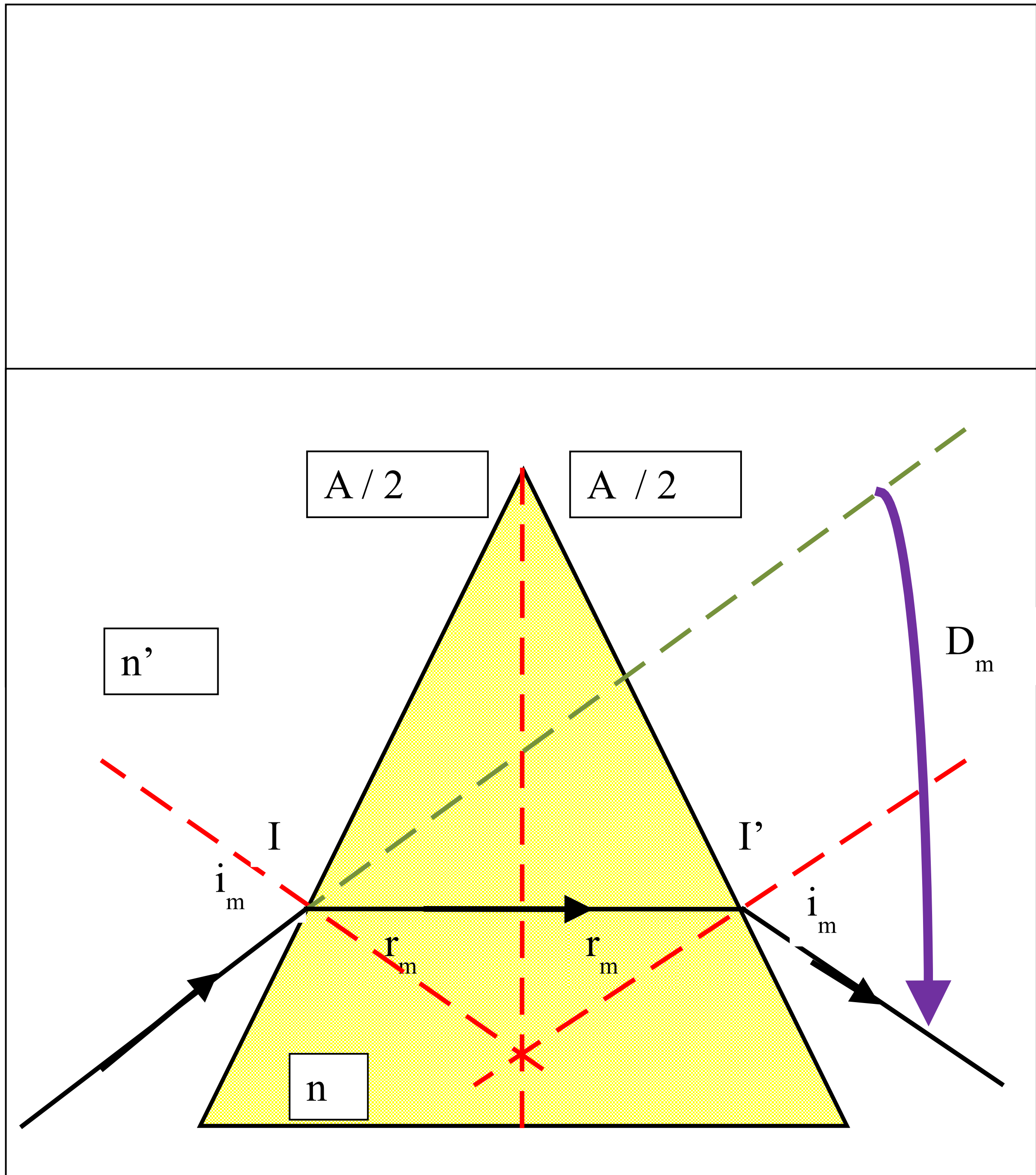
5.6-LE RESUME pour le PRISME :

A-EQUATIONS DU PRISME :



+ La condition d'émergence : $A \leq 2.r_L$

B-EQUATIONS DU PRISME A LA DEVIATION MINIMALE:



B-1-REMARQUE :

- Dans un prisme, la déviation se fait toujours dans le sens de la base.
- La connaissance de (D_m) et (A) permet de déterminer l'indice de réfraction (n) de la substanceconstituant le prisme, pour la radiation utilisée.
- A la déviation minimale (D_m), le trajet du rayon lumineux est SYMETRIQUE par rapport à la bissectrice de l'angle (A) du prisme.
- le segment de droite (II') est parallèle à la base et le triangle (IAI') est isocèle.

5.8-LA DISPERSION DU PRISME :

L'indice de réfraction d'une substance transparente, dépend de la longueur d'onde (λ)de la radiation traversant la substance (le prisme). En général, (n) est donné par une loi empirique de la forme [$n = a + b/\lambda^2 + c/\lambda^4 + \dots$].

Donc, un rayon de lumière blanche qui aborde un prisme, par une face, se disperse en les différentes radiations composant la lumière blanche (L'ARC EN CIEL) à sa sortie du fait que la déviation totale (D_m) dépend de la longueur d'onde (λ). Un tel phénomène est appelé « le phénomène de dispersion « du prisme : il est utilisé pour séparer les vibrations lumineuses.

